

0-788395

Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН

На правах рукописи
УДК 524.83; 524.84; 531-4

Павлюченко Сергей Андреевич

**ДИНАМИКА ПЛОСКИХ АНИЗОТРОПНЫХ
КОСМОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ГРАВИТАЦИИ
ЛАВЛОКА**

Специальность: 01.04.02 – теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации

на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Москва – 2011

Работа выполнена в Специальной Астрофизической Обсерватории
Российской Академии Наук

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук
Топоренский Алексей Владимирович, ст. научный сотрудник ГАИШ МГУ

Научный консультант: Чл.-корр. РАН Старобинский Алексей
Александрович, главный научный сотрудник ИТФ РАН

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор
Гальцов Дмитрий Владимирович
- доктор физико-математических наук
Ивашук Владимир Дмитриевич

Ведущая организация: Казанский (Приволжский) Федеральный
Университет

Защита состоится 21 июня 2011 года в 17⁰⁰ на заседании диссертационного
совета Д 212.203.34 в Российском Университете Дружбы Народов по адресу:
117923 г. Москва, ул. Орджоникидзе д. 3, зал. №1.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Российского
Университета Дружбы Народов по адресу 117198 г. Москва, ул. Миклухо-
Маклая, д. 6.

Автореферат разослан “_20_” мая 2011 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.20

к.ф.-м.н., доцент Ю. П. Лаптев



НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000684586

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена исследованию динамики плоских анизотропных космологических моделей в присутствии поправок по кривизне в лагранжиане. В простейшем случае это поправка Гаусса-Бонне, в общем же она имеет более сложную структуру. Исследование космологической динамики рассматриваемых моделей позволяет независимо от физики элементарных частиц (откуда, собственно, и берут свое происхождение многомерные модели) сделать выводы о реализуемости такой модели в природе.

Идея о том, что окружающее нас пространство имеет больше трех измерений, уходит своими корнями в работы начала 20 века. Именно тогда предпринимались первые попытки объединить различные силы в природе. В 1914 году Нордстром предложил 5-мерную векторную теорию, описывающую одновременно электромагнетизм и скалярную версию гравитации. Однако эта теория была основана на собственной теории гравитации Нордстрема, поэтому после открытия Эйнштейном Теории Относительности статья Нордстрема оказалась забыта. Статья, но не идея – в 1919 году Калуца построил аналогичную теорию, объединяющую линеаризованную версию Общей Теории Относительности (ОТО) с электромагнетизмом. За работой Калуцы, опубликованной в 1921 году, последовали две статьи Клейна. Результатом этих работ стало интересное открытие – пятимерную эйнштейновскую гравитацию можно рассматривать как четырехмерную плюс электромагнетизм на компактифицированном в окружность пятом измерении. Несмотря на то, что теория Калуцы-Клейна – а именно такое название и закрепилось за получившейся теорией – полна проблем и не способна описать природу, это было первым достижением в области дополнительных измерений.

На то время гравитация и электромагнетизм были единственными известными взаимодействиями. С открытием новых взаимодействий предпринимались новые попытки описать их в рамках некой обобщенной теории. Так, после открытия слабого взаимодействия в 1950е годы (Янг и Ли, Нобелевская премия по физике 1957 года) Глэшоу, Вайнберг и Салам в конце 1960х объединили его с электромагнитным в электрослабое (Нобелевская премия

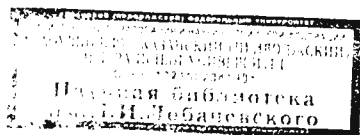
по физике 1979 года). С открытием в 1973 году сильного взаимодействия и формулировкой квантовой хромодинамики закончилось описание взаимодействий, входящих в Стандартную модель (три взаимодействия без гравитации). Аналогично тому, как в теории Калуцы-Клейна объединение гравитации и электромагнетизма удалось описать в рамках пятимерной гравитации, предполагается, что объединение гравитации с другими взаимодействиями можно описать в рамках некоторой обобщенной теории в высшем числе измерений. Одним из наиболее перспективных и известных кандидатов на роль такой теории является теория струн.

Актуальность темы

Как уже указывалось выше, многомерные модели обязаны своим происхождением теориям объединения и, прежде всего, теории струн. Указанные теории являются, прежде всего, теориями, описывающими элементарные частицы и взаимодействия. Таким образом, рассмотрение многомерных космологических моделей в какой-то степени эквивалентно рассмотрению космологического аспекта этих теорий. А это позволяет провести независимую (от физики частиц) оценку того, насколько та или иная модель соотносится с реальностью.

Цель работы

Целью работы являлось изучение динамики плоских анизотропных космологических моделей в присутствии члена Гаусса-Бонне и высших лавлоковских поправок в лагранжиане. Ставилось целью дать качественное описание космологической динамике $(4+1)$ - и $(5+1)$ -мерных анизотропных моделей с членом Гаусса-Бонне в лагранжиане, и обобщить полученные результаты на случай с большим числом пространственных измерений и с высшими поправками по кривизне.



Научная новизна работы

Все результаты, представленные в диссертации, новые:

- показана принципиальная разница в динамике $(4+1)$ - и $(5+1)$ -мерных плоских анизотропных космологических моделей в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне, а именно, патологичность $(4+1)$ -мерной модели в смысле отсутствия режима с плавным переходом между стандартной сингулярностью и режимом расширения и отсутствие указанной патологии в $(5+1)$ -мерной модели;
- описано влияние, оказываемое присутствием идеальной жидкости на динамику $(4+1)$ - и $(5+1)$ -мерных плоских анизотропных космологических моделей в гравитации Гаусса-Бонне, показаны общие свойства динамики таких моделей и различия между ними;
- получены выражения для лагранжиана и уравнений движения плоской анизотропной космологической модели в гравитации Лавлока в произвольном числе измерений и в присутствии поправок произвольных порядков и их комбинаций; описаны общие черты раздельно моделей с четным и нечетным числом пространственных измерений, а также принципиальная разница между этими двумя классами моделей; описано влияние материи в форме идеальной жидкости на динамику рассмотренной модели;
- дано полное описание всех возможных режимов в вакуумной $(4+1)$ -мерной плоской анизотропной космологической модели в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне;
- дано описание влияния материи в форме идеальной жидкости на динамику $(4+1)$ -мерной плоской анизотропной космологической модели в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне.

Практическая ценность

- Лагранжиан и уравнения движения для плоской анизотропной космологической модели в гравитации Лавлока получены для произвольного числа измерений и для произвольных лавлоковских поправок, а также их комбинаций, что позволяет использовать этот результат в широком классе космологических задач.

На защиту выносятся:

1. вывод об отсутствии в $(5+1)$ -мерной плоской анизотропной космологической модели, описанной ранее для $(4+1)$ -мерной модели патологии, выражающейся в подавлении числа плавных переходов между стандартной сингулярностью и казнеровским расширением;
2. лагранжиан и уравнения движения для плоской анизотропной космологической модели в гравитации Лавлока, полученные для любого числа измерений и с любыми [возможными] поправками Лавлока;
3. демонстрация общих свойств плоских анизотропных моделей в гравитации Лавлока отдельно для четного и нечетного числа пространственных измерений, а также различия в свойствах и динамике двух вышеозначенных классов;
4. демонстрация влияния материи в форме идеальной жидкости на динамику плоских анизотропных моделей в гравитации Лавлока отдельно для четного и нечетного числа пространственных измерений, а также различия в свойствах и динамике двух упомянутых классов;
5. результаты исследования распределения и обилия режимов в вакуумной $(4+1)$ -мерной плоской анизотропной модели в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне;
6. результаты исследования влияния материи в форме идеальной жидкости на динамику $(4+1)$ -мерной плоской анизотропной модели в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне; демонстрация разделения всех траекторий на два больших класса безотносительно их делению в вакуумном случае.

Апробация результатов работы

Результаты работы докладывались соискателем на научных конференциях:

- Международная Конференция по современным проблемам гравитации “RUDN-2010”, Москва, июнь-июль 2010
- The 20th workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG20), Киото (Япония), сентябрь 2010
- Международная конференция по общей теории относительности и гравитации “Petrov 2010 Anniversary Symposium on General Relativity and Gravitation”, Казань, ноябрь 2010

Публикации и личный вклад автора

Основные результаты диссертации изложены в 5 работах, опубликованных в зарубежных и Российских изданиях.

В перечисленных работах соискателем выполнено следующее:

- в работе [1] – проведено численное и аналитическое исследование рассматриваемой системы;
- в работах [2, 5] – была поставлена задача и получены результаты;
- в работах [3, 4] – проведено численное и аналитическое исследование рассматриваемой системы;

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Она содержит 81 страницу, 13 рисунков, 1 таблицу. Список литературы насчитывает 55 наименований.

В первой главе рассматривается плоская анизотропная вакуумная $(5+1)$ -мерная космологическая модель в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне и демонстрируются принципиальные отличия рассмотренной модели от аналогичной $(4+1)$ -мерной;

во **второй главе** рассматриваются плоская анизотропная $(4+1)$ - и $(5+1)$ -мерная модели в гравитации Гаусса-Бонне в присутствии материи в форме идеальной жидкости и демонстрируются принципиальные различия в динамике рассматриваемых моделей;

в **третьей главе** рассматриваются плоские анизотропные космологические модели в гравитации Лавлока, получены выражения для лагранжиана и уравнений движения рассматриваемой модели в общем виде (для любого порядка поправок и в любом числе измерений). Демонстрируются свойства, характерные для моделей с четным и нечетным числом пространственных измерений, а также различия между двумя этими классами;

в **четвертой главе** рассматривается плоская вакуумная $(4+1)$ -мерная космологическая модель в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне, дается полное описание всех возможных режимов, а также обсуждаются возможные обобщения на аналогичные модели с произвольным четным числом пространственных измерений в гравитации Эйнштейна-Лавлока;

в **пятой главе** рассматривается плоская анизотропная $(5+1)$ -мерная модель в присутствии материи в виде идеальной жидкости в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне, дается полное описание всех возможных режимов, описывается отличие от вакуумного случая, а также обсуждаются возможные обобщения на аналогичные модели с произвольным четным числом пространственных измерений в гравитации Эйнштейна-Лавлока;

в **заключении** приводятся выводы, выносимые на защиту, и обсуждаются основные результаты работы.

Содержание работы по главам

Введение

Во введении обсуждаются актуальность работы, цели и задачи исследования, научная новизна, научная и практическая значимость работы, а также приводится список работ, в которых опубликованы результаты диссертации с указанием личного вклада автора в совместных публикациях.

Глава 1: О различии между вакуумными (5+1)- и (4+1)-мерными Бьянки-I моделями в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне

Первая глава посвящена изучению вакуумной (5+1)-мерной Бьянки-I (плоской анизотропной) модели в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне. Идея рассмотрения именно такой модели возникла после того, как стало ясно, что аналогичная (4+1)-мерная модель патологична с точки зрения отсутствия в ней плавного перехода между стандартной сингулярностью и казнерским расширением. Указанная патологичность выражается в том, что для осуществления данного перехода (именно он имеет хоть какое-то отношение к реальной Вселенной) необходимо равенство трех параметров Хаббла на уровне 10^{-5} . Очевидно, что для рассматриваемой анизотропной Вселенной мера таких траекторий с хорошей точностью равна нулю.

В процессе работы выяснилось, что в (5+1)-мерной модели такой патологии нет, и плавный переход между стандартной сингулярностью и казнерским расширением достигают примерно 60% всех рассмотренных траекторий. Нестандартную сингулярность в процессе эволюции встречают 15% и оставшиеся 25% уходят на реколлапс. Эти цифры получены путем численного интегрирования уравнений движения при случайном выборе начальных значений параметров Хаббла.

Глава 2: О различии между (5+1)- и (4+1)-мерными Бьянки-I моделями с материей в форме идеальной жидкости в Гаусс-Бонне гравитации

Во второй главе мы рассмотрели (5+1)- и (4+1)-мерные плоские анизотропные модели в гравитации Гаусса-Бонне ("чистый" Гаусс-Бонне без эйнштейновского члена) в присутствии материи. Идея заключается в том, чтобы сравнить поведение (4+1)- и (5+1)-мерных моделей в присутствии материи. Оказалось, что во многом динамика (4+1) и (5+1)-мерных моделей в присутствии материи похожа, но есть и различия. Например, для (4+1)-мерной модели существует "особое решение" с постоянной анизотропией при $w = 0$, которое, хоть формально и удовлетворяет условию $w < 1/3$, но с динамикой, отличной от таковой в общем случае.

Глава 3: О различиях в динамике плоских анизотропных моделей в гравитации Лавлока с четным и нечетным числом измерений

В третьей главе мы рассмотрели динамику плоских анизотропных космологических моделей в гравитации Лавлока. Получены лагранжиан и уравнения движения для модели с только высшей возможной поправкой Лавлока в лагранжиане для любого числа пространственных измерений. На основе анализа уравнений движения сделаны выводы о различиях в динамике моделей с четным и нечетным числом пространственных измерений. Также проанализированы уравнения движения в степенной параметризации и получены условия для обобщенного казнеровского решения и обобщенного решения Милна.

Помимо этого, в третьей главе рассмотрены те же модели, но в присутствии материи в форме идеальной жидкости. Описаны эффекты, которые появляются при добавлении материи для случаев с четным и нечетным числом пространственных измерений; получено выражение для уравнения состояния, разделяющее режимы доминирования поправки Лавлока и режима доминирования материи. Наконец, показано, как из полученных уравнений (которые, как уже указывалось, выведены в предположении присутствия только одной – высшей – поправки Лавлока в лагранжиане) можно получить уравнения движения в общей форме со всеми требуемыми поправками.

Глава 4: Структура траекторий в $(4+1)$ -мерной вакуумной Бьянки-I модели

В четвертой главе рассмотрена динамика $(4+1)$ -мерной плоской анизотропной вакуумной модели в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне. Полностью описаны режимы, возникающие в этой модели, а также исследовано их распределение на карте начальных значений параметров Хаббла. Показано, что в $(4+1)$ -мерной модели реализуются не все возможные варианты переходов между начальными и конечными состояниями. Также обнаружено доминирование переходов типа “стандартная сингулярность \rightarrow реколлапс” на почти всех энергетических масштабах. Обсуждаются возможные обобщения полученных результатов на случай произвольного числа четных пространствен-

ных измерений в гравитации Эйнштейна-Лавлока.

Глава 5: Структура траекторий в $(4+1)$ -мерной Бьянки-I модели с материей в форме идеальной жидкости

В пятой главе мы исследуем динамику $(4+1)$ -мерной плоской анизотропной модели в гравитации Эйнштейна-Гаусса-Бонне в присутствии идеальной жидкости. Описано влияние присутствия вещества на динамику различных вакуумных переходов. Обнаружено, что наличие материи кардинально меняет динамику модели – в присутствии материи все траектории делятся на два больших класса в зависимости от знака некой комбинации параметров Хаббла; два этих класса по-разному ведут себя в присутствии материи, но траектории внутри одного класса, практически безотносительно того, что это был за переход в вакууме, ведут себя одинаково. Также обсуждаются возможные обобщения полученных результатов на случай произвольного числа четных пространственных измерений в гравитации Эйнштейна-Лавлока.

Заключение

В заключении формулируются основные выводы диссертации и приводятся результаты, выносимые на защиту.

Благодарности

Соискатель выражает глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю А.В. Топоренскому и научному консультанту А.А. Старобинскому, на протяжении многих лет осуществлявших научное руководство сначала курсовой, потом дипломной работами и вот теперь кандидатской диссертацией. Кроме того, я хотел бы поблагодарить свою жену М.Л. Хабибуллиной, чья всесторонняя поддержка оказала положительное влияние на результативность научной работы и написание диссертации. Также я глубоко признателен С.В. Карпову (САО РАН) за множественную помощь в программировании и обсуждении промежуточных и основных результатов в неформальной обстановке.

Соискатель признателен оргкомитетам Международной Конференции по современным проблемам гравитации "RUDN-2010" и 20th workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG20) за предоставленную финансовую помощь, позволившую предоставить на конференции промежуточные результаты, вошедшие в диссертацию.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. S.A. Pavluchenko and A.V. Toporensky, Mod. Phys. Lett. **A24**, 513 (2009).
2. S.A. Pavluchenko, Phys. Rev. **D80**, 107501 (2009).
3. I.V. Kirnos, A.N. Makarenko, S.A. Pavluchenko, and A.V. Toporensky, Gen. Rel. Grav. **42**, 2633 (2010).
4. I.V. Kirnos, S.A. Pavluchenko, and A.V. Toporensky, Gravitation & Cosmology **16**, 274 (2010).
5. S.A. Pavluchenko, Phys. Rev. **D82**, 104021 (2010).



Для заметок

Для заметок

Павлюченко Сергей Андреевич

**Динамика плоских анизотропных
космологических моделей в гравитации Лавлока**

В диссертации рассматривается динамика плоских анизотропных космологических моделей в присутствии высших поправок по кривизне (поправок Лавлока) в лагранжиане. С использованием численного моделирования изучаются свойства низкоразмерных – $(4+1)$ - и $(5+1)$ -мерных – моделей в присутствии квадратичной поправки – члена Гаусса-Бонне. Свойства моделей в произвольном числе пространственных измерений изучаются аналитически. Продемонстрировано качественное различие в динамике моделей с четным и нечетным числом пространственных измерений, а также интересные эффекты, возникающие при добавлении материи в форме идеальной жидкости.

Pavluchenko Sergey Andreevich

Dynamics of flat anisotropic cosmological models in Lovelock gravity

In thesis the dynamics of flat anisotropic cosmological models in presence of higher-order curvature corrections (Lovelock corrections) in Lagrangian is considered. By means of numerical methods the properties of low-dimensional – $(4+1)$ - and $(5+1)$ -dimensional – models are investigated in the presence of quadratic correction – the Gauss-Bonnet term. The properties of models in arbitrary number of dimensions are studied analytically. Qualitative difference between the models with odd and even number of spatial dimensions is demonstrated, as well as that some interesting effects arise if one adds matter source in the form of perfect fluid.



102
Бесплатно

С.А. Павлюченко

Динамика плоских анизотропных
космологических моделей в гравитации Лавлока

Зак. №186с Уч. изд. л. – 1.0 Тираж 100
Специальная астрофизическая обсерватория РАН